

Circulação Geral dos Oceanos

Paulo S. Polito, Ph.D.

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

São Paulo, 2021

Roteiro

14 Água Modal do Atlântico Sul

- Para começo de conversa...
- Águas modais em geral
- Água Modal SubTropical do Atlântico Sul - AMSTAS
- Como detectamos AMSTAS nas medidas

Roteiro

14 Água Modal do Atlântico Sul

- Para começo de conversa...
- Águas modais em geral
- Água Modal SubTropical do Atlântico Sul - AMSTAS
- Como detectamos AMSTAS nas medidas

Objetivos desta aula:

- Definir água modal.
- Apresentar sua distribuição geográfica.
- Discutir o processo de formação.
- Focar no Atlântico Sul e na obtenção de medidas in-situ e robóticas.
- Enxergar o processo de formação através dos dados.

Talley et al. Cap. 14.4

Conhecimento prévio:

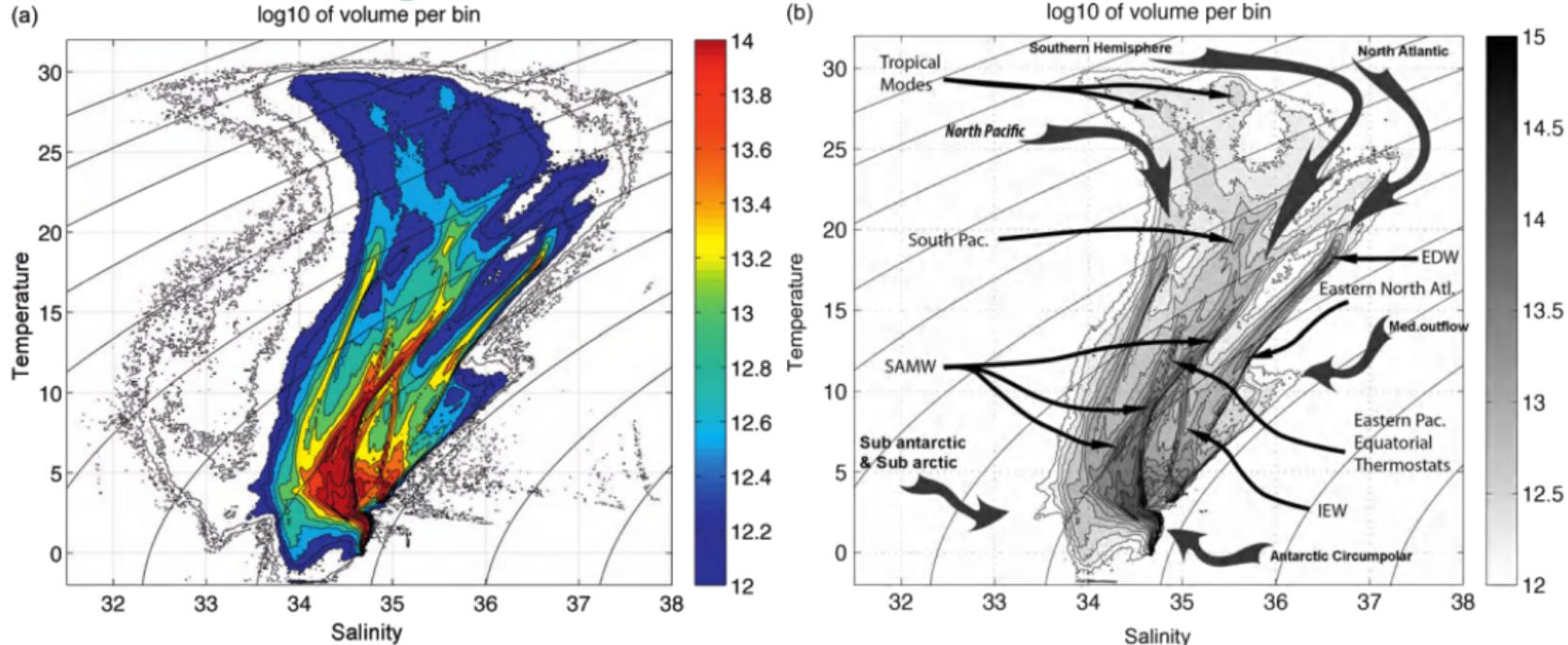
- Entender a diferença entre camada de mistura, de Ekman e superior.
- Saber o que é moda estatística.
- Entender o conceito de vorticidade de estiramento num oceano continuamente estratificado.
- Saber diferenciar advecção de difusão, calor sensível de latente.
- Entender o conceito de célula de revolvimento meridional.

Roteiro

14 Água Modal do Atlântico Sul

- Para começo de conversa...
- Águas modais em geral
- Água Modal SubTropical do Atlântico Sul - AMSTAS
- Como detectamos AMSTAS nas medidas

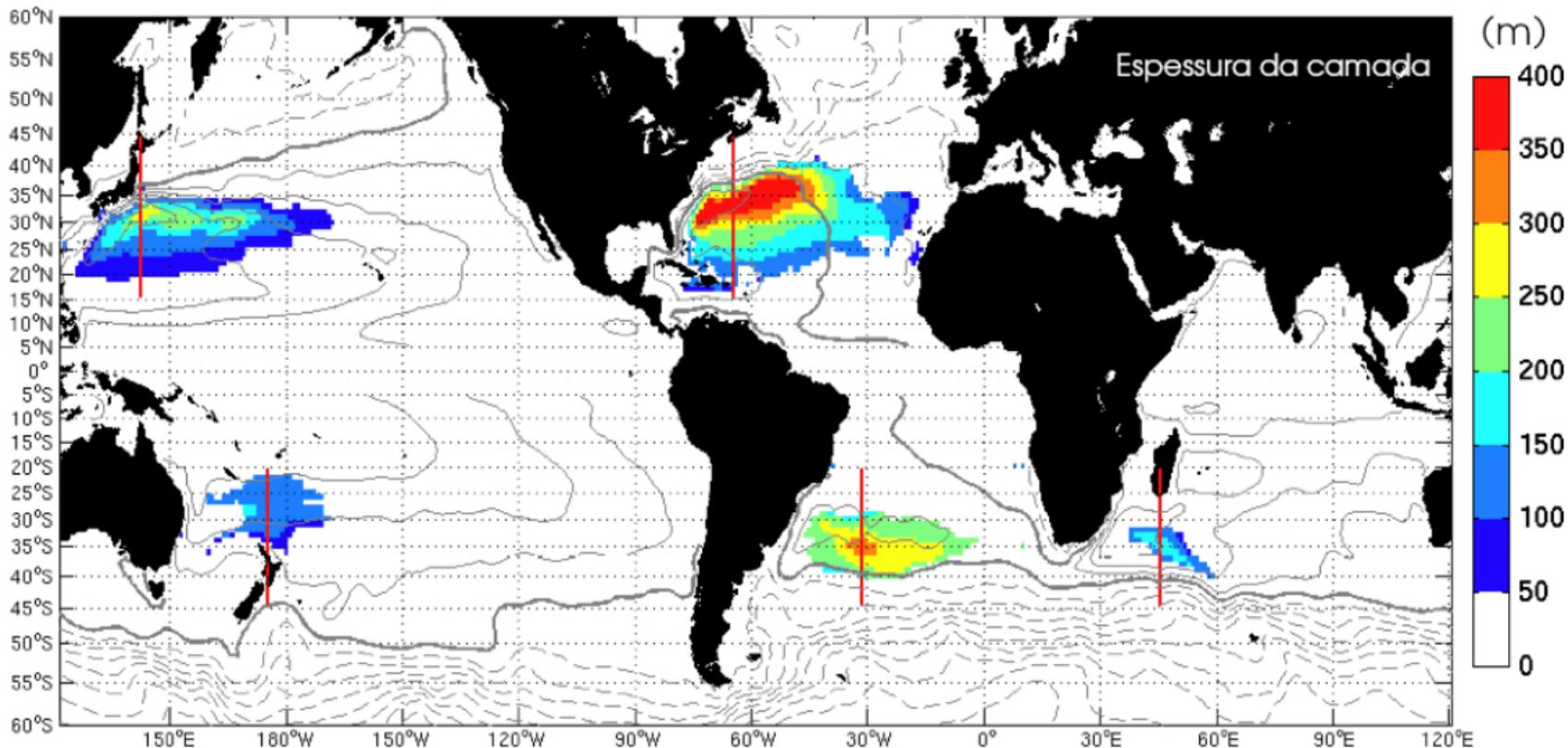
Moda: muita água com mesma T e S



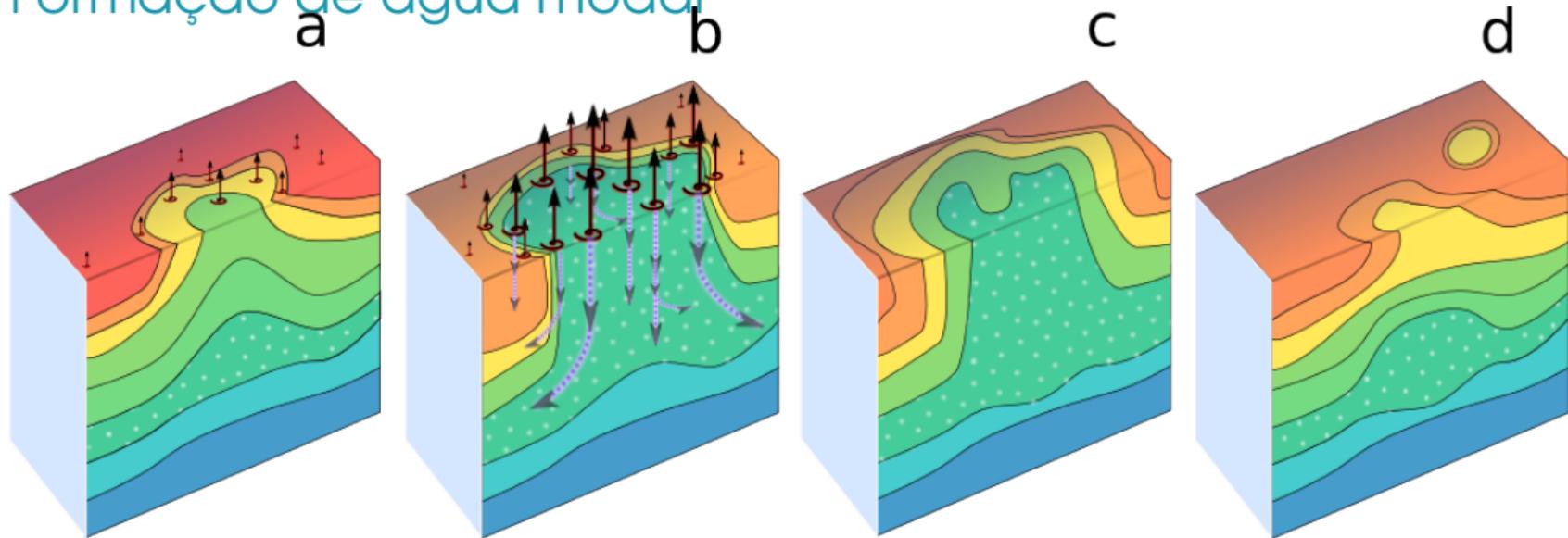
■ Cores = $\log_{10}(\text{m}^3)$ total global com ($T \pm 0.1$)°C, ($S \pm 0.025$).

Distribuição global

G. Maze



Formação de água modal



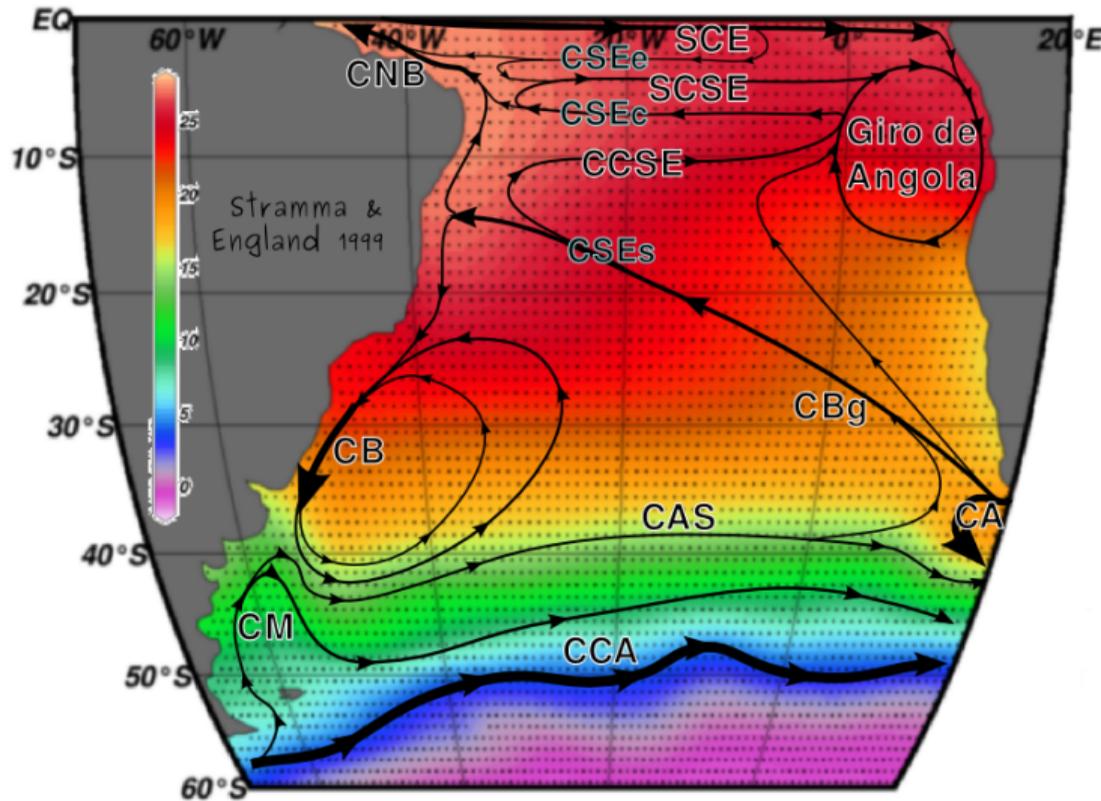
- a Pre-condicionamento para convecção.
- b Empuxo, convecção e mistura.
- c Afundamento e espalhamento.
- d Restratificação das camadas superiores.

Roteiro

14 Água Modal do Atlântico Sul

- Para começo de conversa...
- Águas modais em geral
- Água Modal SubTropical do Atlântico Sul - AMSTAS
- Como detectamos AMSTAS nas medidas

South Atlantic Subtropical Mode Water - SASTMW



- Mistura turbulenta.
- Interação oceano-atmosfera intensa.
- Região de formação.
- Valores baixos de vorticidade potencial

$$q = \frac{f}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

Impacto da AMSTAS

- 1 Mudanças de longo termo no calor armazenado no oceano \rightsquigarrow variações no braço superior da MOC.
- 2 Introduce variabilidade no suprimento de água ventilada para **subducção através da termoclina**.
- 3 Processos acoplados entre a atmosfera e a temperatura da superfície do oceano podem afetar o clima.
- 4 Pode, potencialmente, aumentar a absorção de CO_2 no giro subtropical.

Roteiro

14 Água Modal do Atlântico Sul

- Para começo de conversa...
- Águas modais em geral
- Água Modal SubTropical do Atlântico Sul - AMSTAS
- Como detectamos AMSTAS nas medidas

Critérios para selecionar STMW

Vorticidade potencial: $Q = \frac{f}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}$

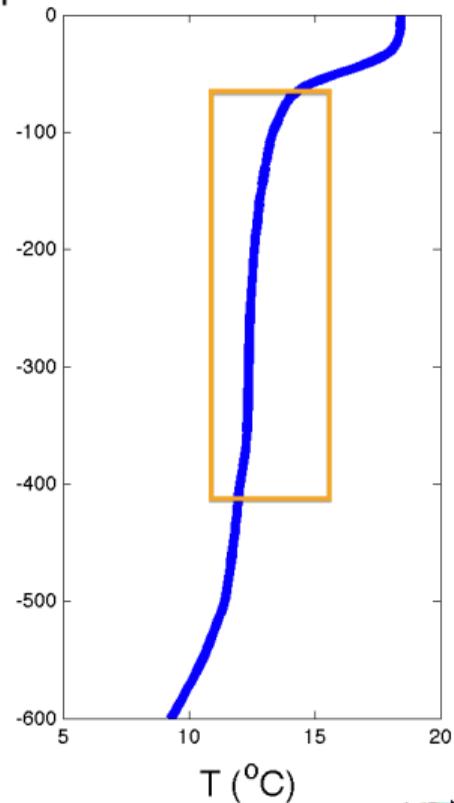
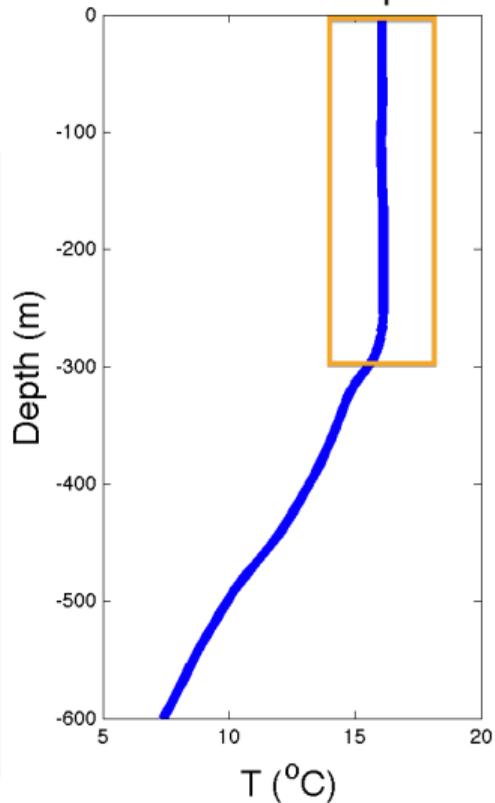
■ $Q \leq 1.50 \times 10^{-10} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

■ $\frac{dT}{dz} < 0.01^\circ\text{C m}^{-1}$

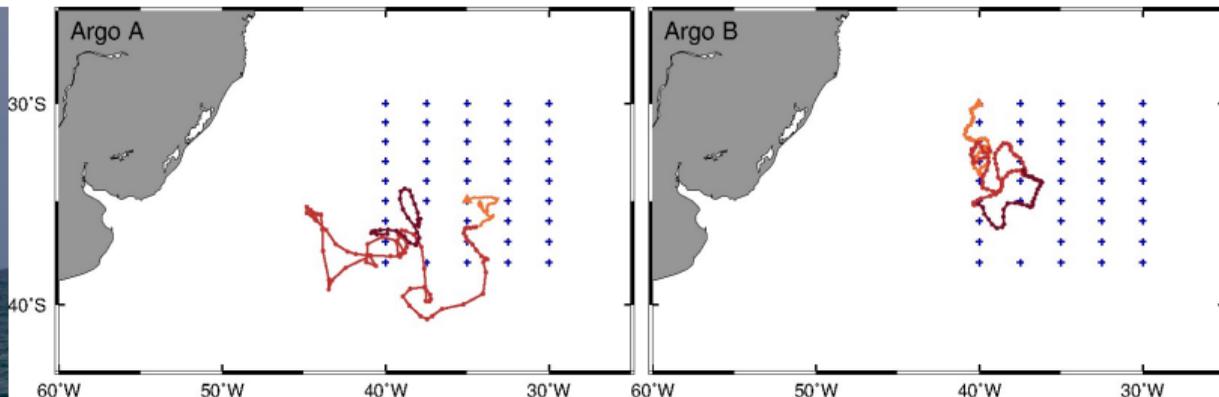
■ $13^\circ\text{C} \leq T \leq 16^\circ\text{C}$,

■ $34.7 \leq S \leq 36.5$.

Tipos de perfis



Primeiro cruzeiro oceanográfico



CTD/rosette:

- Abril–Maio, 2015,
- 45 estações de CTD,
- Análises físicas, químicas e biol.

Argo:

- Abril 2015 a Junho 2017
- Ciclo: 5 dias
- T, S a cada 5 m acima de 500 m.

Diagramas TS

- In-situ T ,
- In-situ S ,
- Contornos de σ_0 .
- Cinza=SASTMW, via limite de T e S .

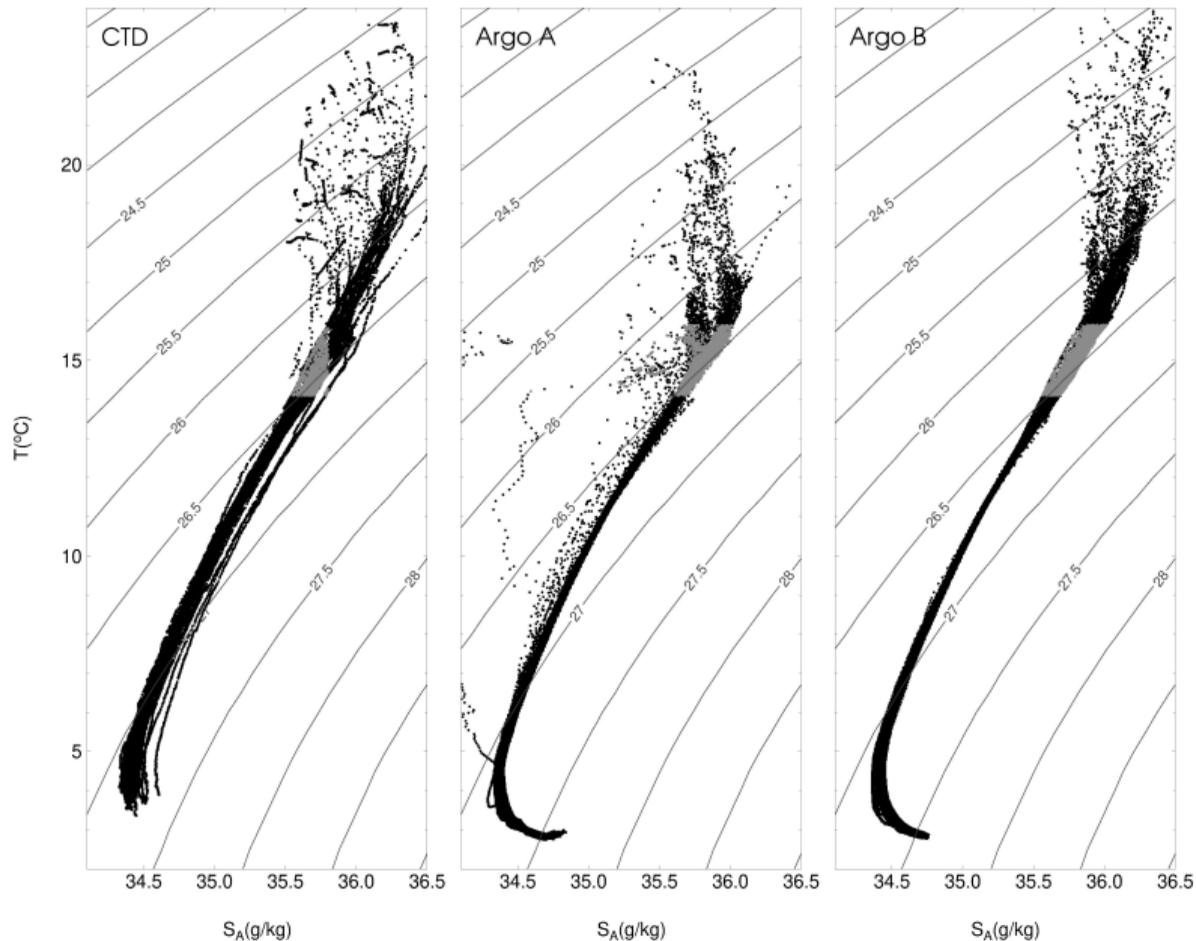
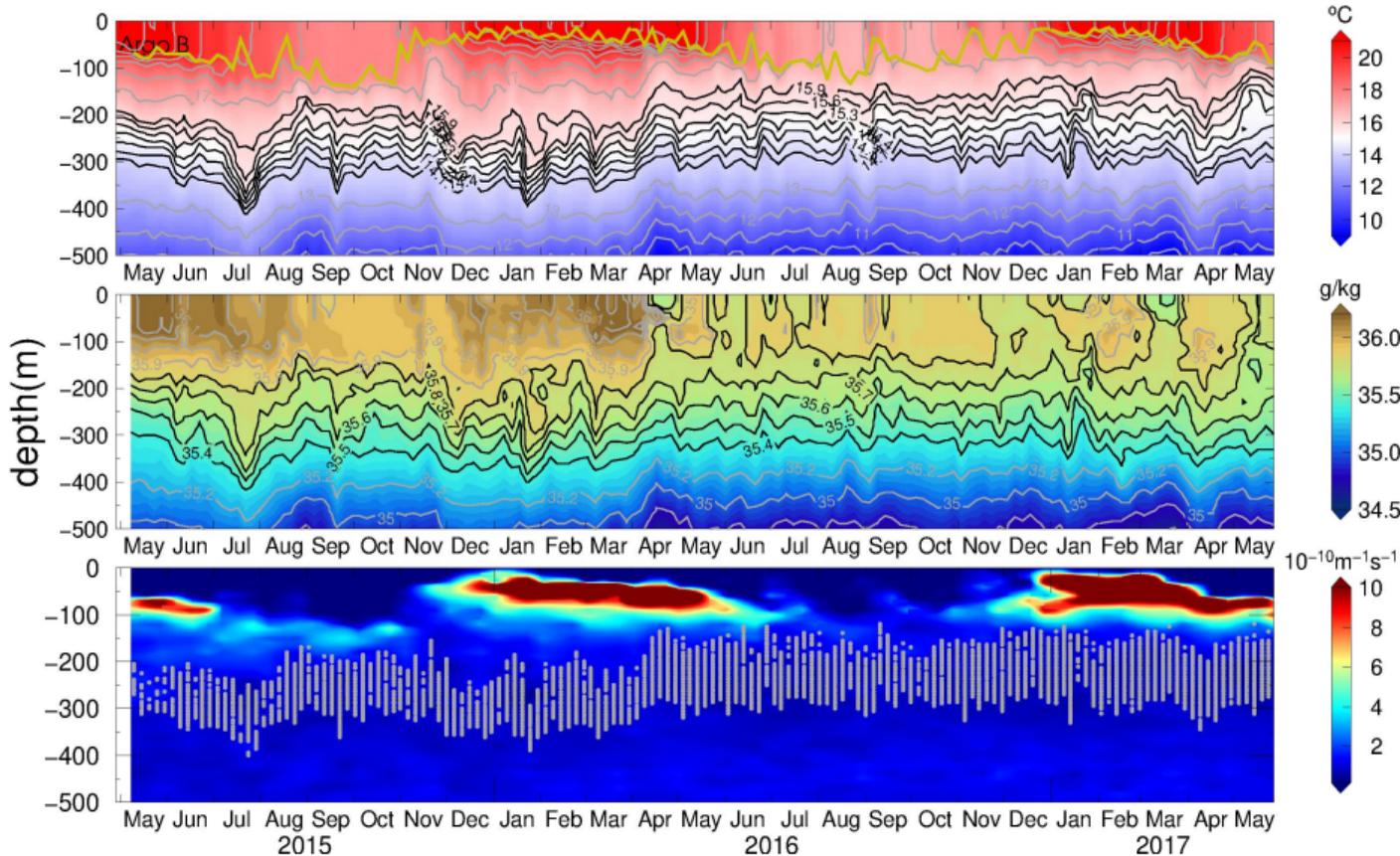


Diagrama z-temporal para o Argo B



Pontos a ponderar

- Dados *in situ* são essenciais para entendermos a estrutura da água modal.
- Água modal recém formada é distinta por apresentar valores extremamente baixos de PV.
- A formação da água modal está em fase com a integral temporal do fluxo de calor pela superfície (não apresentado aqui).
- A formação da água modal parece ser iniciada por um evento de escala sinótica (≈ 5 dias).

Primeiro cruzeiro do projeto SAMOWA::FAPESP

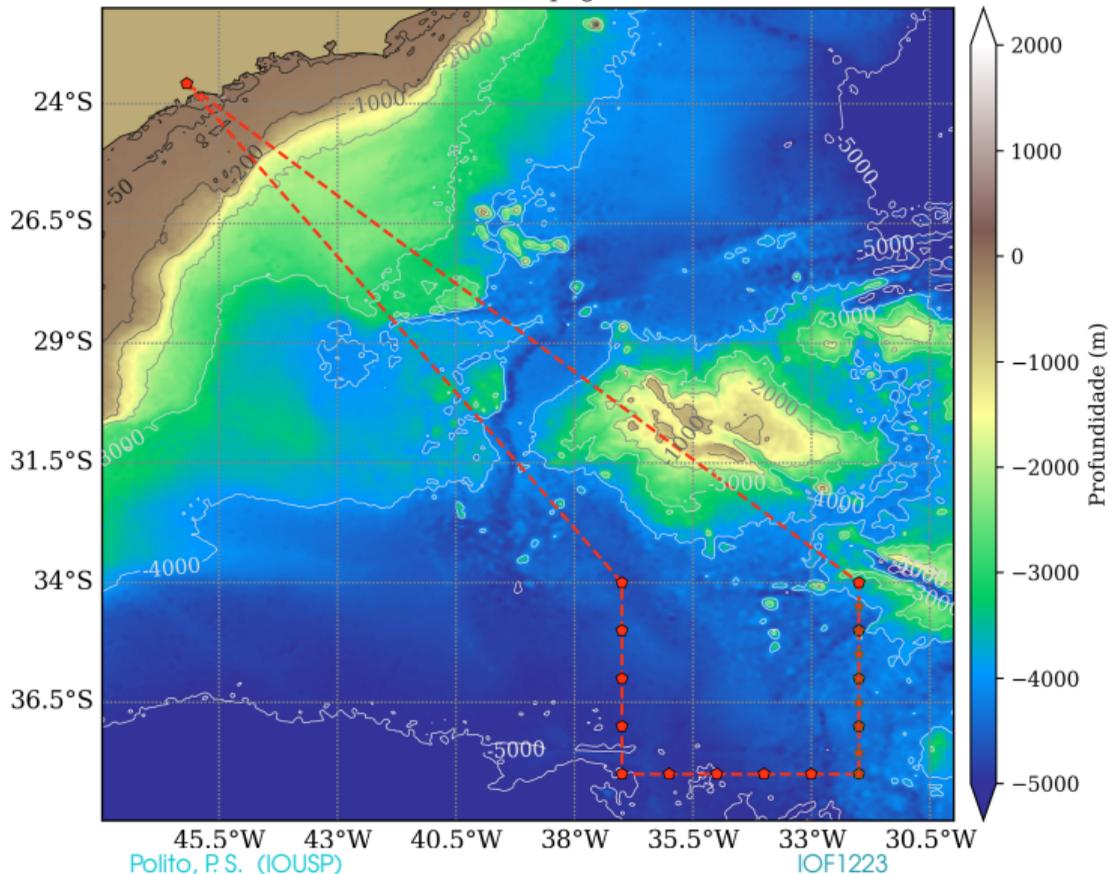


PI. Olga T. Sato, Ph.D.

- Marca histórica: ponto mais à oeste que o α † já foi.
- Levamos 6 alunos da graduação e 7 da pós.
- Todos voltaram.  LOS

Estratégia amostral

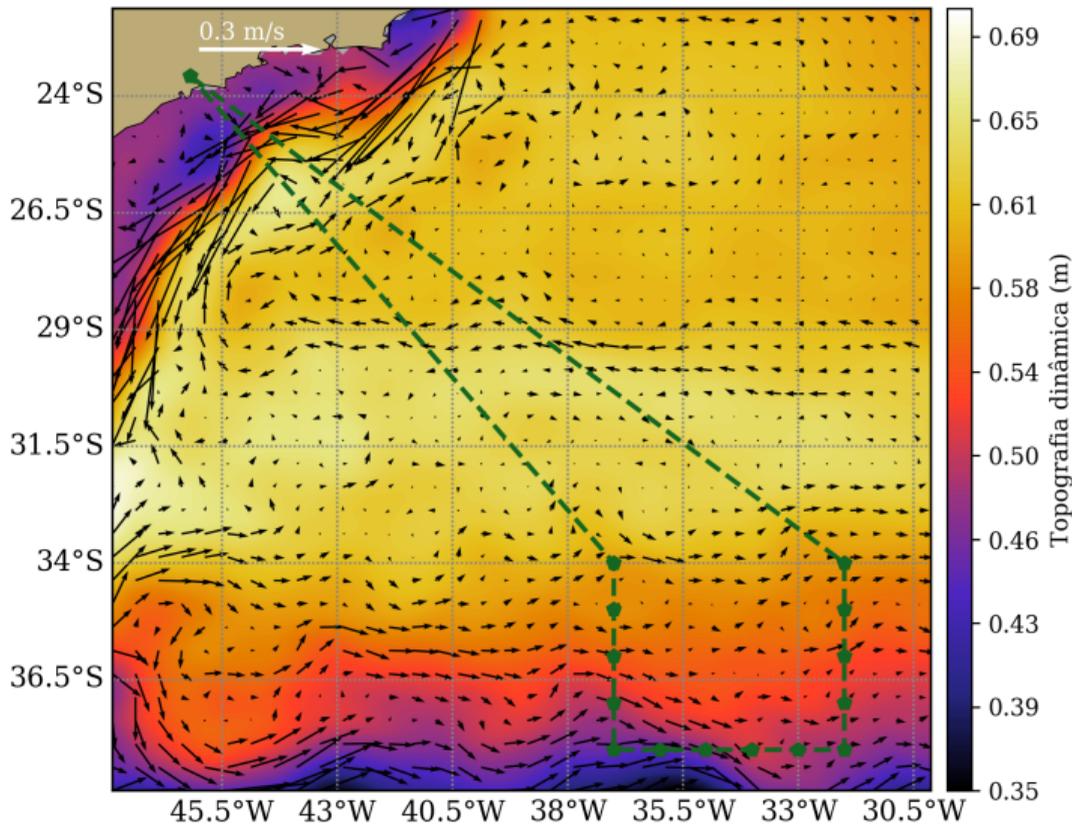
Transecto SAMOA topografia ETOPO2



- 16 a 30 de Julho 2018.
- Inverno \Rightarrow mau tempo.
- Ao sul da elevação do Rio Grande.
- Ao norte da Confluência Brasil-Malvinas.

Topog. Dinâmica e Correntes Médias (1993-2013)

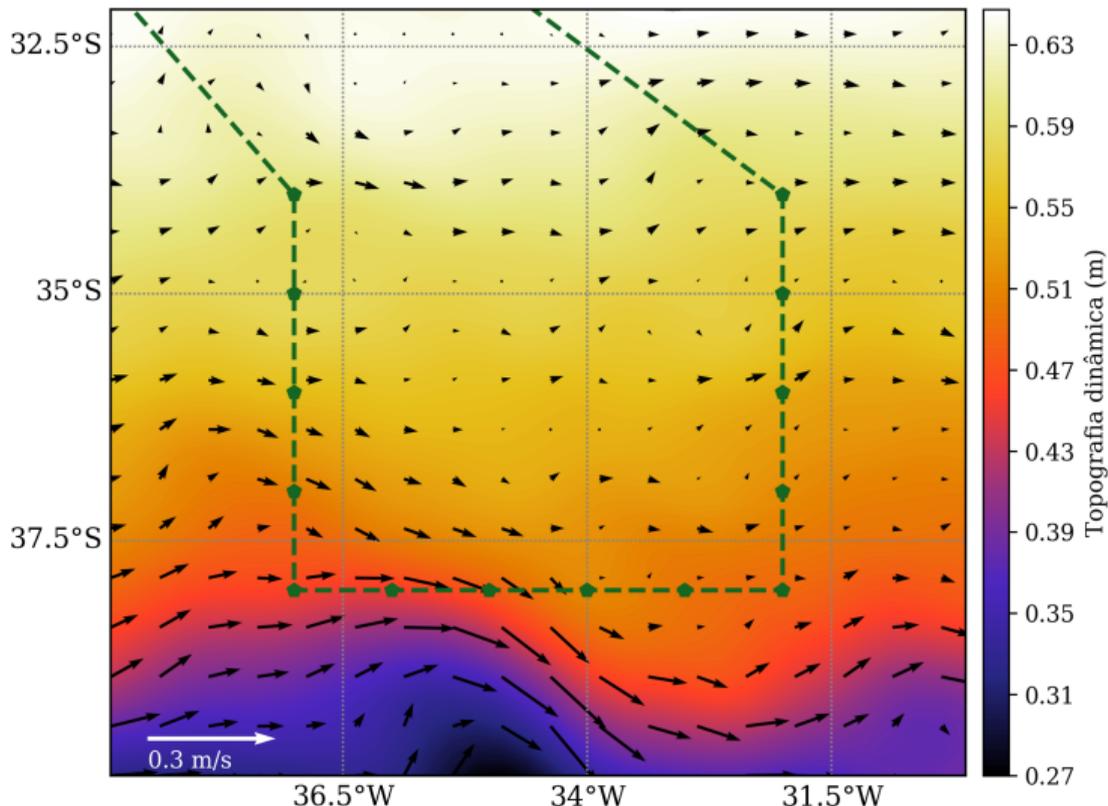
Transecto SAMOWA sobre MDT e vel. de altímetros



- Satélites altimétricos.
- Correntes **geostróficas médias na coluna.**
- Fora das principais correntes.
- Máxima corrente média $\bar{u} \sim 0.15 \text{ ms}^{-1}$.

Zoom na Topografia Dinâmica e Correntes

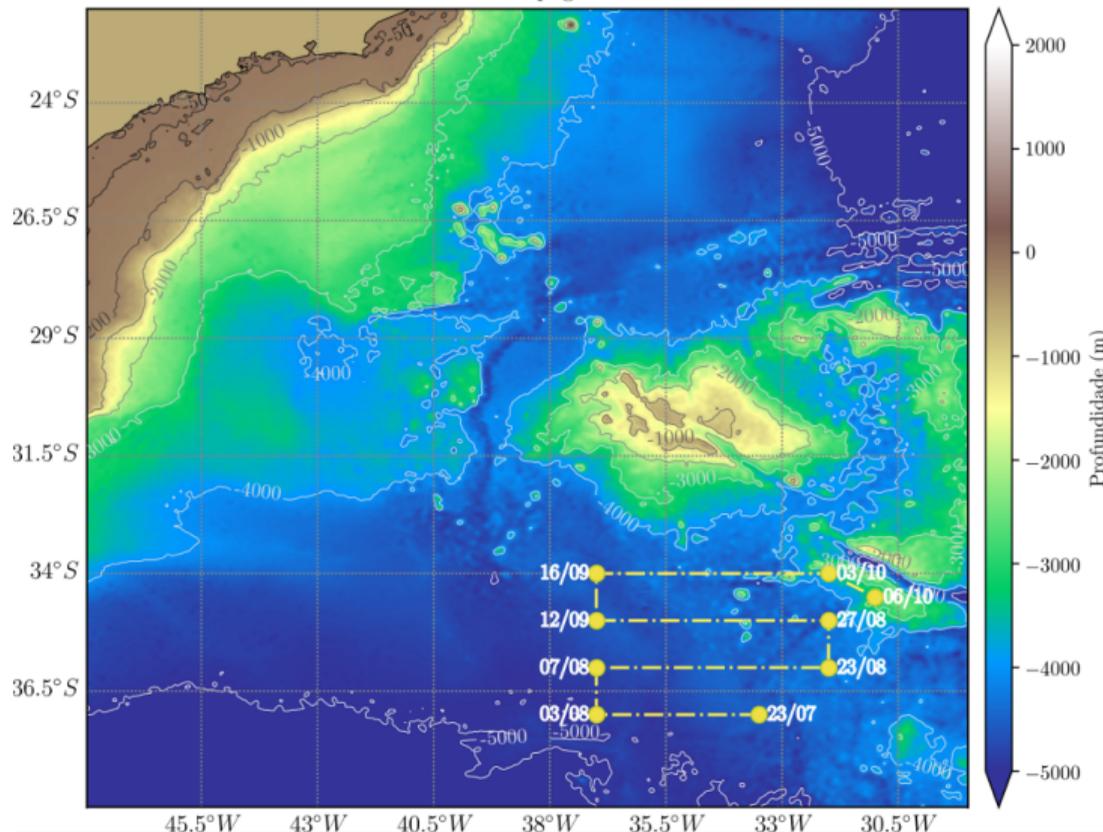
Transecto SAMOWA sobre MDT e vel. de altímetros



- Ramo sul toca a Corrente do Atlântico Sul.
- Lançar glider no lado leste, $\vec{u} < 0.05 \text{ ms}^{-1}$.
- Glider não tem propulsão externa.

Estratégia amostral do glider

Glider SAMOWA topografia ETOPO2



Polito, P.S. (IOUSP)

IOF1223

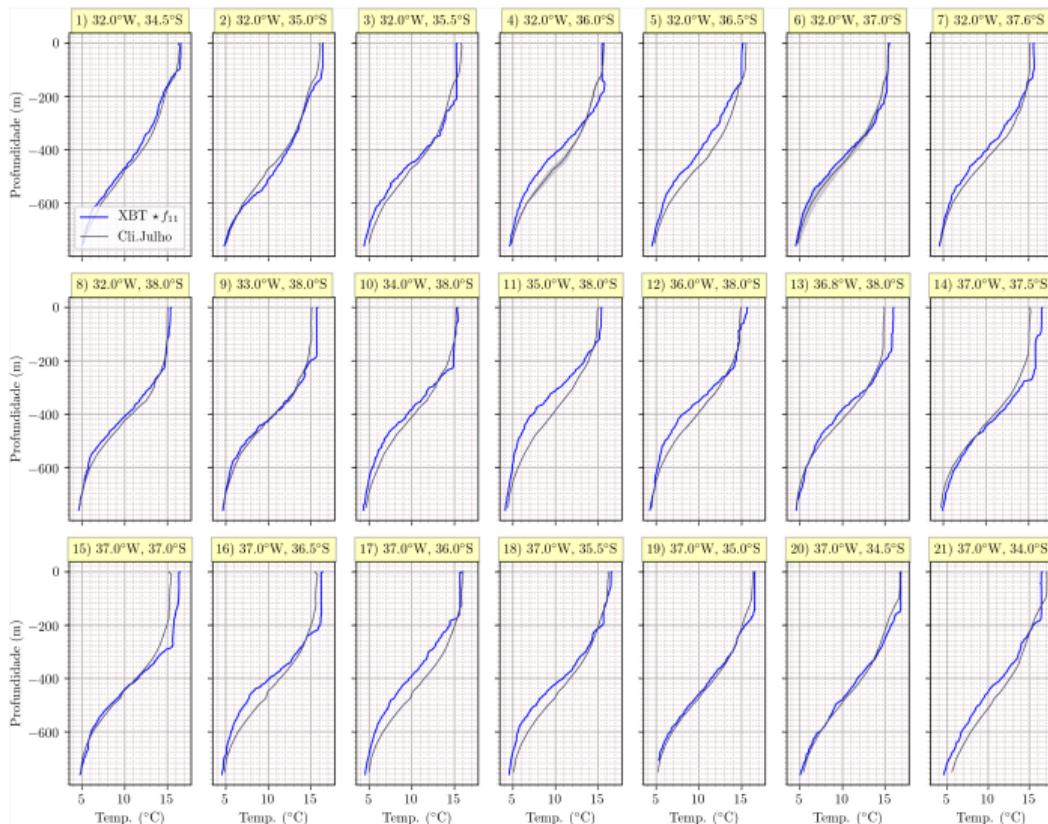
- Monitorado pelo Prof. Marcelo Dottori e Rutgers Univ.
- Velocidade variável, correntes.
- Recuperado perto da Elevação do Rio Grande.

São Paulo, 2021



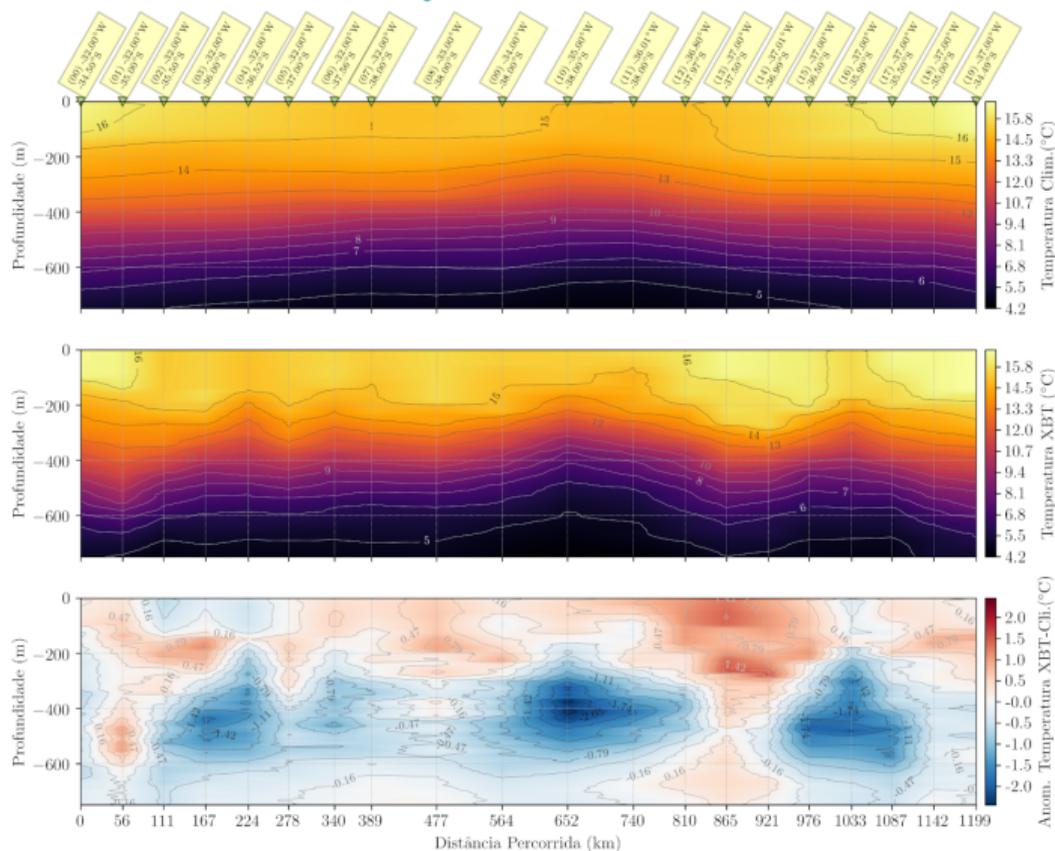
23/31

Resultados: perfis XBT



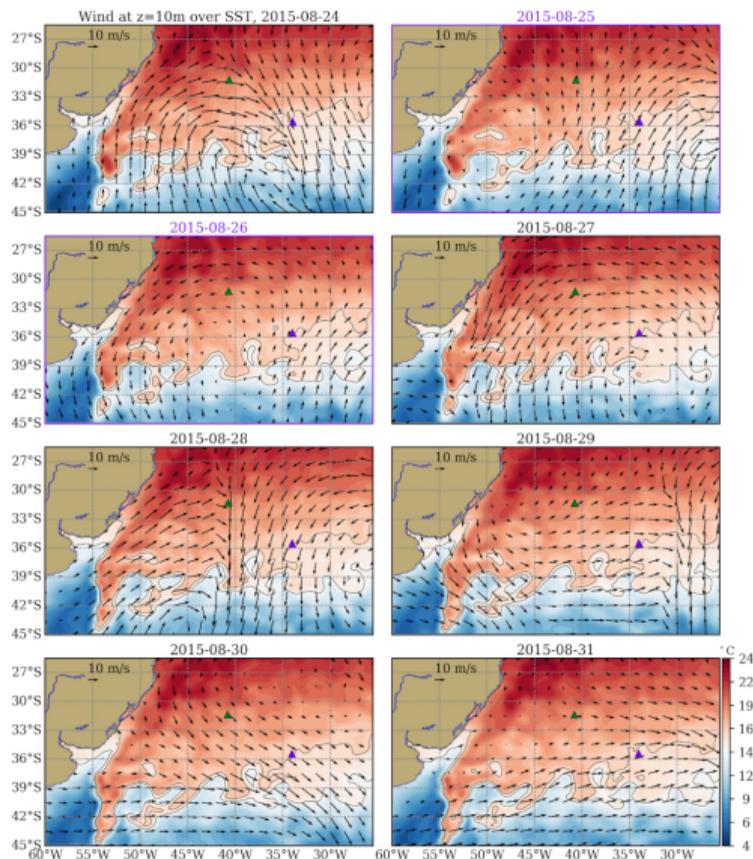
- Perfis azuis = $T(z)$ do XBT.
- Perfis cinza = climatologia.
- Atenção à camada de mistura, e.g.: perfil 15).
- **Validação:** Difere muito da climatologia?

Resultados: seção XBT



- Perfis individuais anotados.
- Eixo x em km ao longo do percurso em "U".
- Cores enganam: maior diferença ~ 100 m.
- Formação de água modal é intermitente.

O que estamos propondo?



Polito, P. S. (IOUSP)

- Cores = TSM (GHRSSST).
- Contorno cinza de $(15.0 \pm 0.9) ^\circ\text{C}$
- 24/08 vento de NW: TSM de água quente p/ fria sobre o Argo ►.
- 25-26/08: muda o vento, agora vai de TSM fria p/ quente.
- 31/08: Argo emerge na água modal.

IOF1223

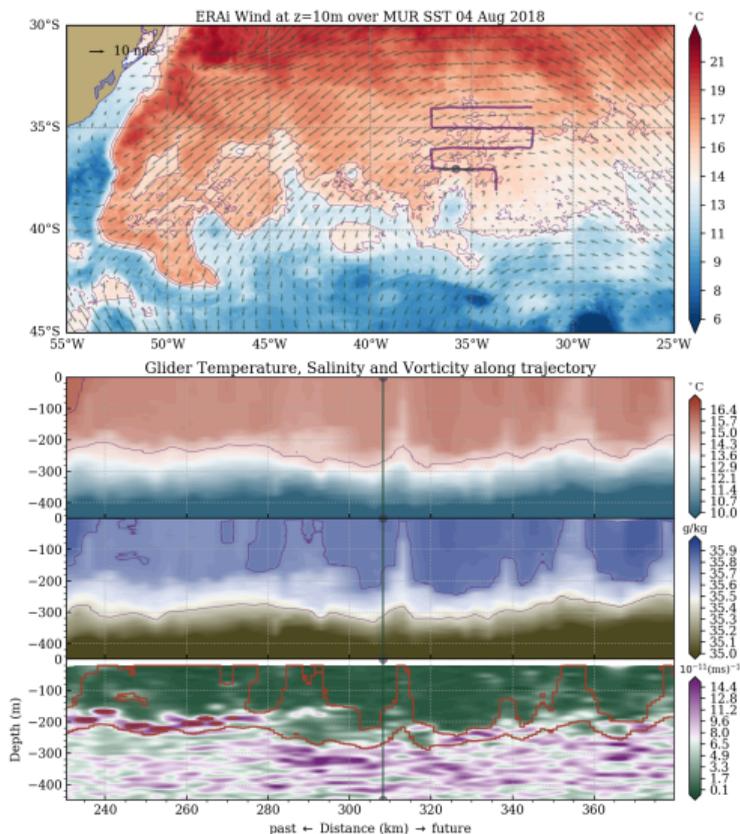
São Paulo, 2021

26/31



Resultados: *glider*

- TSM: satélites, L4, MUR (GHRSSST).
- T, S e vorticidade potencial.
- Contornos: limite da água modal.
- Estruturas de submesoescala (1-5km) na formação.
- Processo convectivo.



Onde chegamos?

- A moda, no caso, se refere à estatística volumétrica de T , S e q .
- q , no caso, é a vorticidade potencial de **estiramento**.
- Águas modais se encontram nas altas latitudes dos giro subtropicais.
- A formação envolve troca de calor pela superfície, mistura e advecção.
- Pré-condicionamento antes do inverno e de gatilho durante o inverno.
- O gatilho é acionado pela passagem de frentes e provoca convecção em submesoescala.
- Conclusões tentativas, baseadas em XBT/CTD, glider, Argo e satélites.

RESEARCH ARTICLE

10.1002/2013JC009438

Key Points:

- Subtropical mode waters are detected in the South Atlantic with Argo profiles
- Cluster analysis is used to distinguish three types of subtropical mode waters
- Thicker subtropical mode water is found more often in anticyclonic eddies

Correspondence to:

O. T. Sato,
olga.sato@usp.br

Citation:

Sato, O. T., and P. S. Polito (2014), Observation of South Atlantic subtropical mode waters with Argo profiling float data, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 2860–2881, doi:10.1002/2013JC009438.

Observation of South Atlantic subtropical mode waters with Argo profiling float data

O. T. Sato¹ and P. S. Polito¹

¹Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil

Abstract South Atlantic subtropical mode water (SASTMW) is detected using temperature and salinity profiles obtained by Argo floats. Marked by low potential vorticity within its extent, mode waters are identified by homogeneous temperature and salinity values, both horizontally and vertically. Their presence is evident in three regions: the Brazil Current recirculation gyre on the western side of the basin, the eastern side of the basin, and along the southern edge of the gyre. Formation occurs between winter and mid-spring in the regions of cumulative cooling of the ocean. We showed that Argo profilers do not preferentially sampled eddies. Yet, from the profiles that found SASTMW inside an eddy, 80% are anticyclonic. Furthermore, the mode water layer inside anticyclonic eddies is on average thicker than inside cyclonic eddies or anywhere else. We investigate the correlation between the presence of mode water with the eddy kinetic energy (EKE). The cross spectrum shows that the EKE and the layer thickness are out of phase in the annual period band. We addressed the role of negative surface heat fluxes during the SASTMW period of formation. Nearly all profiles that indicated mode water formation occurred at the time and within the region where the cumulative heat flux was negative.

JGR Oceans

RESEARCH ARTICLE

10.1029/2018JC014762

Key Points:

- Newly formed mode waters are distinguished by extremely low values of PV
- The formation of mode water is in phase with the time integral of the surface heat flux
- Mode water formation was triggered by a synoptic scale event (approximately equal to 5 days)

Supporting Information:

- Supporting Information S1

Correspondence to:

O. T. Sato,
olga.sato@usp.br

Citation:

Ferreira, M. B., Sato, O. T., Polito, P. S., & Bernardo, P. S. (2019). Examining the subtropical mode water in the southwestern Atlantic from in situ observations. *Journal Geophysical Research: Oceans*, 124. <https://doi.org/10.1029/2018JC014762>

Examining the Subtropical Mode Water in the Southwestern Atlantic From in Situ Observations

M. B. Ferreira , O. T. Sato , P. S. Polito , and P. S. Bernardo 

Oceanographic Institute of the University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Abstract We investigated the formation and evolution of the South Atlantic subtropical mode water using data from profiling conductivity, temperature, and depth sensors (CTD) deployed in April–May 2015 and from two customized Argo floats that drifted from April 2015 to June 2017. From the CTD data, we observed a mode water layer below the seasonal thermocline that deepened from the southern side of the area to the north. The two Argo floats remained in the proximity of the cruise area for 2 years. Their slow displacement and recirculating patterns allowed us to observe the changes in the temperature and salinity structure before and after the formation period. We observed that the potential vorticity of newly formed mode water was $O[10^{-1}$ to $10^{-2}]$ of the mean value found in the whole mode water layer. There is a significant correspondence between the phases of the time integral of surface heat fluxes and the sea surface temperature. Mode water is observed to form at the integrated heat flux minimum phase. The relationship between the air-sea fluxes and sea surface temperature promotes the necessary preconditioning for the mode water formation. Once this was established, the outcropping of the mode water, that was at about 100 m depth, coincided with the passage of an atmospheric cold frontal system. This event suggests that the mode water formation can be triggered by the passage of cold fronts.

Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER

10.1029/2019GL086653

Key Points:

- The western South Atlantic subtropical mode water is the thickest among the three types
- The turnover time is different for each South Atlantic subtropical mode water type and the western type is the most persistent
- The three mode water types variability are driven by distinct local dynamics added to the heat flux

Supporting Information:

- Supporting Information S1

Correspondence to:

P. S. Bernardo,
piero.bernardo@usp.br

Volumetric Characterization of the South Atlantic Subtropical Mode Water Types

Piero S. Bernardo¹  and Olga T. Sato¹ 

¹Oceanographic Institute of the University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Abstract Time series (2002–2018) of a global monthly objectively analyzed fields of temperature and salinity were used to investigate the South Atlantic subtropical mode water (SASTMW). It is characterized as homogeneous layers in the temperature range of 13 to 16 °C and with low potential vorticity. Three different types of SASTMW were distinguished allowing us to evaluate their temporal volumetric variation. Each type has its distinct spatial and temporal distribution patterns and consequently dissimilar volumetric variation. This variability is seen in the volume anomaly and turnover time of each type. To examine these differences we compared two rates: the water formation in a given temperature range due to heat flux and the mode water formation. The first (13.1 ± 2.4 Sv) is higher than the second (10.2 ± 2.0 Sv), showing that although heat flux is essential for the formation of SASTMW, there are other factors that influence each type differently.